

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-085531

(43)Date of publication of application : 20.03.2003

(51)Int.Cl. G06T 1/00
G01J 3/51
G01N 21/27
G01N 21/57
G06T 7/00

(21)Application number : 2001-270842

(71)Applicant : TELECOMMUNICATION
ADVANCEMENT ORGANIZATION OF
JAPAN
OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 06.09.2001

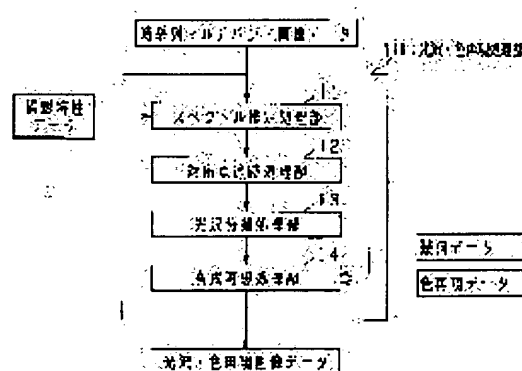
(72)Inventor : OSAWA TATEO
TSUCHIDA MASARU
YAMAGUCHI MASAHIRO
OOYAMA NAGAAKI

(54) GLOSS AND COLOR REPRODUCING SYSTEM, AND GLOSS AND COLOR REPRODUCING PROGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a gloss and color reproducing system or the like capable of tracing a corresponding point easily even with a gloss, and separating a diffuse reflection component and specular reflection component.

SOLUTION: The gloss and color reproducing system is provided with a multi spectrum camera for rotating a subject at a minute angle under a point light source and recording a plurality of subject photographed images, a spectrum estimation processing part 11 for estimating a subject spectrum from the subject photographed image, a corresponding point trace processing part 12 for acquiring the corresponding point in the plurality of the subject photographed images on the basis of a component orthogonal to an illumination light spectrum of the subject spectrum, and a gloss separation processing part 13 for separating the specular component and the diffuse reflection component of a color of the corresponding point by using the component orthogonal to the illumination light spectrum of the subject spectrum.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-85531

(P2003-85531A)

(43) 公開日 平成15年3月20日 (2003.3.20)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 0 6 T 1/00	2 8 0	G 0 6 T 1/00 2 8 0	2 G 0 2 0
G 0 1 J 3/51		G 0 1 J 3/51	2 G 0 5 9
G 0 1 N 21/27		G 0 1 N 21/27 A	5 B 0 5 7
21/57		21/57	5 L 0 9 6
G 0 6 T 7/00	1 0 0	G 0 6 T 7/00 1 0 0 A	
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 16 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-270342 (P2001-270342)

(22) 出願日 平成13年9月6日 (2001.9.6)

(71) 出願人 592256623

通信・放送機構

東京都港区芝2-31-19

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 大澤 健郎

東京都港区芝2-31-19 通信・放送機構
内

(74) 代理人 100076233

弁理士 伊藤 進

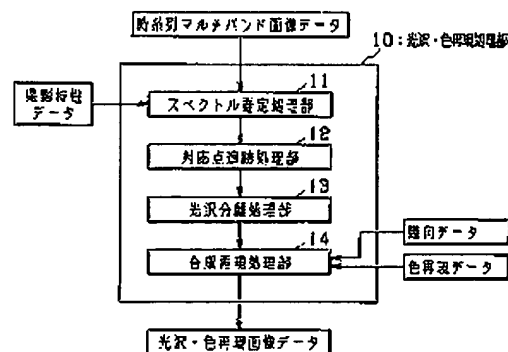
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光沢・色再現システム、光沢・色再現プログラム

(57) 【要約】

【課題】 光沢があっても簡単に対応点を追跡し、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができる光沢・色再現システム等を提供する。

【解決手段】 点光源の下に被写体を微小角度に回転させて複数の被写体撮影画像を記録するマルチスペクトルカメラと、上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定処理部11と、上記被写体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分に基づき上記複数の被写体撮影画像中の対応点を取得する対応点追跡処理部12と、上記被写体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分を用いて上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離処理部13と、を備えた光沢・色再現システム。



(2)

特開2003-85531

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、

を備えた光沢・色再現システムであって、

上記対応点取得手段は、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得するものであることを特徴とする光沢・色再現システム。

【請求項2】 複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、

を備えた光沢・色再現システムであって、

上記光沢分離手段は、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するものであることを特徴とする光沢・色再現システム。

【請求項3】 複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、

上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定手段と、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、

を備えた光沢・色再現システムであって、

上記対応点取得手段は、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分から対応点を取得するものであることを特徴とする光沢・色再現システム。

【請求項4】 複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、

上記被写体撮影画像から被写体のスペクトルを推定するスペクトル推定手段と、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、

を備えた光沢・色再現システムであって、

上記光沢分離手段は、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分を用いて、鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するものであることを特徴とする光沢・色再現システム。

【請求項5】 上記撮影手段は、被写体と上記撮影手段との位置関係であることを特徴とする請求項1から請求項4の何れか一項に記載の光沢・色再現システム。

【請求項6】 上記撮影手段はマルチバンドカメラであることを特徴とする請求項1から請求項4の何れか一項に記載の光沢・色再現システム。

【請求項7】 コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、

として機能させることを特徴とする光沢・色再現プログラム。

【請求項8】 コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、

として機能させることを特徴とする光沢・色再現プログラム。

【請求項9】 コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、

上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定手段、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、

として機能させることを特徴とする光沢・色再現プログラム。

【請求項10】 コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、

上記被写体撮影画像から被写体のスペクトルを推定するスペクトル推定手段、

上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、

上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分を用いて、鏡面反射成分と拡散反

(3)

特開2003-85531

3

4

射成分とを分離する光沢分離手段、
として機能させることを特徴とする光沢・色再現プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光沢・色再現システム、光沢・色再現プログラム、より詳しくは、立体感や光沢感といった物体のもつ質感を良好に再現し得る光沢・色再現システム、光沢・色再現プログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】立体感や光沢感といった物体のもつ質感を忠実に再現するためには、物体を様々な方向から観察したときの視差の変化の様子や光沢の変化の様子を、観察環境に合わせて再現することが有効であると考えられる。そのためには、複数の撮影条件下において光沢を含む画像を複数撮影して、物体表面の各点について画像間で対応点を追跡し、さらに拡散反射と鏡面反射の分離を行った上で、合成する必要がある。なお、ここでは、2色性反射モデルが成り立つか、または近似的に成り立つ物体について考えている。

【0003】被写体を回転させて撮影した画像から被写体の形状を推定する手段の一つとして、日浦慎作、佐藤宏介、井口征士による「対象物体の回転による形状と反射率の同時計測」(情報処理学会論文誌 Vol. 36 No. 10 (Oct. 1995) の第2295頁から第2302頁)(以下、文献1という)に記載されているような、時空間断面画像上での対応点の軌跡を用いる手段がある。

【0004】複数の画像間での対応点の追跡は、一般的に、画像中の画素の輝度や色、小領域におけるテクスチャに注目することにより行われ、その軌跡が求められる。

【0005】また、異なる方向から被写体に照明をあてて撮影した画像から、被写体の拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離する手段としては、Yoichi Sato, Katsushi Ikeuchiによる「Temporal-color space analysis of reflection」(J.Opt.Soc.Am.A/Vol.11, No.11/November 1994の第2990頁から第3002頁)(以下、文献2という)に記載されているような、鏡面反射の色ベクトルと拡散反射の色ベクトルとを用いて幾何ベクトルを推定することにより、鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する手段が一例として挙げられる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記文献1に記載されたような対応点追跡の手段では、画像中に光沢が含まれる場合には、対応点の軌跡上の点であっても画素の輝度や色が変化する場合があり、このことが形状を推定する際に誤差を生じさせたり、あるいは形状を推定するためのアルゴリズムが複雑化したりする原因

となっている。

【0007】また、上記文献2に記載されたような鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する手段では、必要とされる色ベクトルを求めるためには、カメラの分光特性と、照明光スペクトルと、被写体の拡散反射特性と、の情報が必要になるが、これらの情報全てを正確に取得することは難しいために、汎用的に実施するのは困難である。

【0008】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、光沢があっても簡便に対応点を追跡することができ、光沢・色再現システム、光沢・色再現プログラムを提供することを目的としている。

【0009】また、本発明は、簡便に拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができる光沢・色再現システム、光沢・色再現プログラムを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、第1の発明による光沢・色再現システムは、複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、を備えた光沢・色再現システムであって、上記対応点取得手段は、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得するものである。

【0011】また、第2の発明による光沢・色再現システムは、複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、を備えた光沢・色再現システムであって、上記光沢分離手段は、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するものである。

【0012】さらに、第3の発明による光沢・色再現システムは、複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定手段と、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段と、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、を備えた光沢・色再現システムであって、上記対応点取得手段は、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分から対応点を取得するものである。

【0013】第4の発明による光沢・色再現システムは、複数の撮影条件下において複数の被写体撮影画像を記録する撮影手段と、上記被写体撮影画像から被写体のスペクトルを推定するスペクトル推定手段と、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段

(4)

特開2003-85531

5

6

と、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、を備えた光沢・色再現システムであって、上記光沢分離手段は、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分を用いて、鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するものである。

【0014】第5の発明による光沢・色再現システムは、上記第1から第4の発明による光沢・色再現システムにおいて、上記撮影条件が、被写体と上記撮影手段との位置関係である。

【0015】第6の発明による光沢・色再現システムは、上記第1から第4の発明による光沢・色再現システムにおいて、上記撮影手段がマルチバンドカメラである。

【0016】第7の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0017】第8の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0018】第9の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定手段、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって上記被写体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0019】第10の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記被写体撮影画像から被写体のスペクトルを推定するスペクトル推定手段、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって上記被写

体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を具体的に説明する前に、本発明において用いられている原理について図面を参照して説明する。

【0021】本発明に用いられる原理は、観測された反射光スペクトルを、照明光スペクトルの成分と、照明光スペクトルに直交する成分と、に分離し、これらの成分に注目して、対応点の追跡を行い、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離するようにしたものである。

【0022】2色性反射は金属等を除く一般的な物体の多くについて成り立つものであり、物体からの反射光を拡散反射成分と鏡面反射成分とで記述できるモデルである。これらの内の鏡面反射成分（光沢成分）は、照明光スペクトル成分のみに依存するために、観測対象の物体にこの2色性反射が成り立つ場合には、物体の反射光スペクトル成分のうち照明光スペクトルに直交する成分もしくはこれと等価な照明光スペクトルと物体の反射光スペクトルにより張られる面（2つのベクトルの線形和で表される面）は光沢の影響を受けず一定である。従って、この成分に注目することにより、対応点を容易に追跡することが可能となる。

【0023】また、これらの成分を用いることにより、拡散反射成分のスペクトル成分を求めることなく、一つの定数を求めることで、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することが可能になる。

【0024】まず、対応点を追跡する原理（基礎となる理論や仮定する条件など）について詳細に説明する。

【0025】観測を行う際のシチュエーションは、例えば、後述する実施形態の図2に示すようになっていて、被写体3を回転台2上に設置し、位置が固定された1つの点光源6の照明光により該被写体3を照明し、固定された観測位置（図2の例ではマルチスペクトルカメラ1）から被写体3のスペクトル画像を測定する。回転台2を $-\pi/2 \sim \pi/2$ の範囲で、例えば $\pi/(M-1)$ の角度単位でステップを刻み回転させながら、M枚の画像を測定する。このとき、上記光源6の照明光のスペクトルは既知であるとする。

【0026】以下の説明では、被写体表面上のある1点からの反射光について考える。

【0027】スペクトル $E(\lambda)$ （ここに入は波長であり、 $E(\lambda)$ は、 $\int E(\lambda) \cdot d\lambda = 1$ となるように規格化されているものとする。）をもつ点光源の下で、被写体を角度 ϕ 回転させたときに、観測される被写体表面からの波長 λ の反射光の強度 $I(\lambda, \phi)$ は、次の数式1に示すように、拡散反射成分 $I_d(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ の和で表され、さらに、これらの各反射成分は、それぞれ、波長 λ をパラメータとする関

(4)

特開2003-85531

5

6

と、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段と、を備えた光沢・色再現システムであって、上記光沢分離手段は、上記被写体スペクトルの、照明光スペクトルと直交する成分を用いて、鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するものである。

【0014】第5の発明による光沢・色再現システムは、上記第1から第4の発明による光沢・色再現システムにおいて、上記撮影条件が、被写体と上記撮影手段との位置関係である。

【0015】第6の発明による光沢・色再現システムは、上記第1から第4の発明による光沢・色再現システムにおいて、上記撮影手段がマルチバンドカメラである。

【0016】第7の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0017】第8の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0018】第9の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記被写体撮影画像から被写体スペクトルを推定するスペクトル推定手段、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求めるにあたって上記被写体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分から対応点を取得する対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0019】第10の発明による光沢・色再現プログラムは、コンピュータを用いることにより、複数の撮影条件下において記録された複数の被写体撮影画像を処理する光沢・色再現プログラムであって、コンピュータを、上記被写体撮影画像から被写体のスペクトルを推定するスペクトル推定手段、上記複数の被写体撮影画像中の対応点を求める対応点取得手段、上記対応点の色の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離するにあたって上記被写

体スペクトルの照明光スペクトルと直交する成分を用いて鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離する光沢分離手段、として機能させるものである。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を具体的に説明する前に、本発明において用いられている原理について図面を参照して説明する。

【0021】本発明に用いられる原理は、観測された反射光スペクトルを、照明光スペクトルの成分と、照明光スペクトルに直交する成分と、に分離し、これらの成分に注目して、対応点の追跡を行い、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離するようにしたものである。

【0022】2色性反射は金属等を除く一般的な物体の多くについて成り立つものであり、物体からの反射光を拡散反射成分と鏡面反射成分とで記述できるモデルである。これらの内の鏡面反射成分（光沢成分）は、照明光スペクトル成分のみに依存するために、観測対象の物体にこの2色性反射が成り立つ場合には、物体の反射光スペクトル成分のうち照明光スペクトルに直交する成分もしくはこれと等価な照明光スペクトルと物体の反射光スペクトルにより張られる面（2つのベクトルの線形和で表される面）は光沢の影響を受けず一定である。従って、この成分に注目することにより、対応点を容易に追跡することが可能となる。

【0023】また、これらの成分を用いることにより、拡散反射成分のスペクトル成分を求めることなく、一つの定数を求めることで、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することが可能になる。

【0024】まず、対応点を追跡する原理（基礎となる理論や仮定する条件など）について詳細に説明する。

【0025】観測を行う際のシチュエーションは、例えば、後述する実施形態の図2に示すようになっていて、被写体3を回転台2上に設置し、位置が固定された1つの点光源6の照明光により該被写体3を照明し、固定された観測位置（図2の例ではマルチスペクトルカメラ1）から被写体3のスペクトル画像を測定する。回転台2を $-\pi/2 \sim \pi/2$ の範囲で、例えば $\pi/(M-1)$ の角度単位でステップを刻み回転させながら、M枚の画像を測定する。このとき、上記点光源6の照明光のスペクトルは既知であるとする。

【0026】以下の説明では、被写体表面上のある1点からの反射光について考える。

【0027】スペクトル $E(\lambda)$ （ここに λ は波長であり、 $E(\lambda)$ は、 $\int E(\lambda) \cdot d\lambda = 1$ となるように規格化されているものとする。）をもつ点光源の下で、被写体を角度 ϕ 回転させたときに、観測される被写体表面からの波長 λ の反射光の強度 $I(\lambda, \phi)$ は、次の数式1に示すように、拡散反射成分 $I_d(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ の和で表され、さらに、これらの各反射成分は、それぞれ、波長 λ をパラメータとする関

(5)

特開2003-85531

8

数と、幾何条件（ここでは上記角度 ϕ ）をパラメータとする関数と、の積で表されるものとする。

【数1】

$$I(\lambda, \phi) = I_d(\lambda, \phi) + I_s(\lambda, \phi) \\ = D(\phi)I_d(\lambda) + S(\phi)E(\lambda)$$

ここに、

$$I_d(\lambda, \phi) = D(\phi) I_{d0}(\lambda)$$

$$I_s(\lambda, \phi) = S(\phi) E(\lambda)$$

であり、 $I_{d0}(\lambda)$ は、 $\int I_{d0}(\lambda) d\lambda = 1$ となるように規格化されているものとする。

【0028】スペクトル空間において、 $I_{d0}(\lambda)$ は拡散反射成分の方向ベクトル、 $E(\lambda)$ は鏡面反射成分の方向ベクトル、 $D(\phi)$ と $S(\phi)$ は、それぞれの成分の回転角 ϕ における強度を意味している。

【0029】スペクトル空間において、照明光のスペクトル $E(\lambda)$ と直交する平面を考える。観測された被写体表面からの反射光スペクトルをこの平面に投影し、 $E(\lambda)$ に直交するスペクトル成分 $P(\lambda)$ を求める。2色性反射を仮定することができる場合には、鏡面反射成分は照明光と同じスペクトル分布をもつために、この直交成分 $P(\lambda)$ は鏡面反射の影響を受けずに一定である。そこで、反射光 $I(\lambda, \phi)$ から照明光のスペクトルに相当する成分を取り除き、鏡面反射の影響を受けない成分 $P(\lambda)$ を求める。観測された反射光 $I(\lambda, \phi)$ は、照明光のスペクトル $E(\lambda)$ と、それと直交する成分 $P(\lambda)$ （ここに $P(\lambda)$ は、 $\int P(\lambda) d\lambda = 1$ となるように規格化されているものとする。）と、を用いて、次の数式2のように表される。

【数2】

$$I(\lambda, \phi) = p(\phi)P(\lambda) + q(\phi)E(\lambda)$$

【0030】ここで、 $P(\lambda)$ と $E(\lambda)$ は、スペクトル空間上での直交基底をなす方向ベクトルを表し、 $p(\phi)$ と $q(\phi)$ は、回転角 ϕ におけるそれぞれの成分の強度を表している。このとき、 $q(\phi)$ は、次の数式3に示すように、 $P(\lambda)$ と $E(\lambda)$ の直交性（ $\int P(\lambda) E(\lambda) d\lambda = 0$ ）を用いて、 $I(\lambda, \phi)$ と $E(\lambda)$ の内積値を計算することにより求められる。

【数3】

$$q(\phi) = \int I(\lambda, \phi) E(\lambda) d\lambda$$

【0031】つまり、 $I(\lambda, \phi)$ は観測される量であり、 $E(\lambda)$ も既知であるために、この数式3を用いることにより、 $q(\phi)$ が算出される。

【0032】そして $p(\phi)$ は、数式3で求めた $q(\phi)$ を用いるとともに $P(\lambda)$ が規格化されていることを利用して、また $P(\lambda)$ は、求めた $q(\phi)$ と $p(\phi)$ を用いて数式2を変形することにより、次の数式4によって求められる。

【数4】

$$p(\phi) = \left[\int \{I(\lambda, \phi) - q(\phi)E(\lambda)\}^2 d\lambda \right]^{1/2}$$

$$P(\lambda) = \{I(\lambda, \phi) - q(\phi)E(\lambda)\} / p(\phi)$$

【0033】以上のような処理を画像中の全ての画素に対して行うことにより、鏡面反射の影響を含まない成分の画像が得られる。鏡面反射成分は $E(\lambda)$ のみに依存しており、この $E(\lambda)$ に直交する $P(\lambda)$ は鏡面反射の影響を全く含まないために、画像間での対応点の画素値はスペクトル空間上で同じ向きを向く。従って、 $P(\lambda)$ の値を調べることににより、撮影した画像中に鏡面反射が含まれる場合でも、その影響を受けることなく、対応点の追跡を容易に行うことが可能である。

【0034】対応点の追跡は、全ての ϕ に対して得られた $P(\lambda)$ の画像を用いて、図1(B)に示すような時空間断面画像を作成し、その画像上において行う。

【0035】この図1は、本発明の各実施形態に係る原理を説明するための図であり、(A)被写体を記述する座標系と観測面の座標系との関係を示す図、(B)対応点の時空間断面画像の様子を示す図である。

【0036】この時空間断面画像上における対応点の軌跡について考える。ここでは簡単のために、図1(A)に示すように、被写体のスペクトル画像測定が並行投影である（つまり、物体の回転軸と画像の投影面（観測面）とが平行である）と仮定する。

【0037】被写体の形状を円筒座標系で表現するものとし、被写体表面のある点の座標を (θ, r, h) とする。被写体を角度 ϕ だけ回転させたとき、その点は $(\theta + \phi, r, h)$ へ移動する。このときの観測面上に投影されたその点の像は、次の数式5のように表される。

【数5】

$$x = r \cdot \sin(\theta + \phi)$$

$$y = h$$

ここに、 y 軸は観測面上における上記回転軸の投影像と一致するように取られ、 x 軸は該観測面上でこの y 軸と直交するように取られている。

【0038】従って、 $y = h$ における時空間断面画像上での対応点の軌跡は、 ϕ を変数とする \sin 曲線となる。数式5に示すパラメータの内、 h は既知であり、初期位相 θ はセッティングにより所望の値、例えば0に設定することができ、 ϕ は測定時に制御する値であるために、未知数となるのは振幅 r のみである。

【0039】そこで、振幅 r を様々に変化させて、 $P(\lambda)$ の時空間断面画像上における \sin 曲線上の画素値を調べ、 \sin 曲線の振幅 r を求める。上述したように $P(\lambda)$ の画像を用いることにより、鏡面反射の影響を含まないようにすることができるために、対応点の画素値は、スペクトル空間で全て同じ向きを向く。

【0040】そこで、コスト関数 $C(r)$ を、スペクトル

(6)

特開2003-85531

9

10

ル $P(\lambda)$ の分散を用いて数式6に示すように定義し、このコスト関数 $C(r)$ の値が最小となる振幅 r を求める。この数式6においては、時空間断面画像上の位置 (x, ϕ) の画素値を $P_{x,\phi}(\lambda)$ と表記している。また、 M は上述した画像の枚数であり、 $-\pi/2 \sim \pi/2$ の範囲で Σ をとる ϕ は、上述したように、 $\pi/(M-1)$ を単位として変化するものである。

【数6】

$$\begin{aligned}\bar{P}(\lambda) &= \sum_{\phi=-\pi/2}^{\pi/2} P_{x,\phi}(\lambda) / M \\ \text{err}(r, \phi) &= \sqrt{\int P_{x,\phi}(\lambda) - \bar{P}(\lambda)^2 d\lambda} \\ C(r) &= \sum_{\phi=-\pi/2}^{\pi/2} \text{err}(r, \phi)\end{aligned}$$

【0041】なお、オクルージョンが存在する場合には、ある ϕ を境に $\text{err}(r, \phi)$ の値が急激に変化する。その場合には、それ以降の軌跡上の画素に関する値の計算は行わない。

【0042】このようにして未知数であった振幅 r が算出されることにより、着目点の観測面上における軌跡が、上記数式5に示すように決定される。

【0043】ここまでは、対応点を追跡する原理であったが、次に、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離する手段の原理について詳細に説明する。

【0044】 $p(\phi)$ 、 $q(\phi)$ は、上記数式1と数式2を用いることにより、次の数式7、数式8に示すようにそれぞれ表される。

【数7】

$$\begin{aligned}p(\phi) &= \int I_s(\lambda, \phi) P(\lambda) d\lambda \\ &= \int D(\phi) I_{\Delta}(\lambda) P(\lambda) d\lambda \\ &= aD(\phi) \\ \int I_{\Delta}(\lambda) P(\lambda) d\lambda &= a\end{aligned}$$

【数8】

$$\begin{aligned}q(\phi) &= \int I_s(\lambda, \phi) E(\lambda) d\lambda + \int I_r(\lambda, \phi) E(\lambda) d\lambda \\ &= bD(\phi) + S(\phi) \\ b &= \int I_{\Delta}(\lambda) E(\lambda) d\lambda\end{aligned}$$

【0045】これら数式7と数式8から $D(\phi)$ を消去して整理することにより、 $S(\phi)$ に関する次の数式9が得られる。

【数9】

$$S(\phi) = q(\phi) - \frac{b}{a} p(\phi)$$

【0046】さらに、上記数式1とこの数式9を用いることにより、拡散反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_r(\lambda, \phi)$ に関する次の数式10が得られる。

【数10】

$$\begin{aligned}I_s(\lambda, \phi) &= S(\phi) E(\lambda) \\ &= \left\{ q(\phi) - \frac{b}{a} p(\phi) \right\} E(\lambda) \\ I_r(\lambda, \phi) &= I(\lambda, \phi) - S(\phi) E(\lambda)\end{aligned}$$

【0047】この数式10においては、 $E(\lambda)$ は既知であり、 $p(\phi)$ と $q(\phi)$ は上記数式3と数式4により、観測値から算出されるために、未知となっているのは b/a のみである。

【0048】そこで、この b/a を求める手段について考える。上記数式8の両辺を数式7の両辺でそれぞれ割ることによって、次の数式11が得られる。

【数11】

$$\frac{q(\phi)}{p(\phi)} = \frac{b}{a} + \frac{S(\phi)}{aD(\phi)}$$

【0049】鏡面反射成分を含まない $I(\lambda, \phi)$ が1つ以上あるとすると、 $S(\phi) \geq 0$ 、 $aD(\phi) > 0$ であり、 $S(\phi) = 0$ となる ϕ が少なくとも1つは存在することになる。従って、 b/a は、次の数式12に示すように、 $i(\lambda, \phi)$ が鏡面反射成分を含まないときに $q(\phi)/p(\phi)$ の最小値となる。

【数12】

$$\frac{b}{a} = \min \left(\frac{q(\phi)}{p(\phi)} \right)$$

【0050】こうして、 $-\pi/2 \sim \pi/2$ の範囲で $\pi/(M-1)$ を単位として変化する ϕ のそれぞれについて、 $q(\phi)/p(\phi)$ の値を上記数式3と数式4を用いて算出し、これら M 個の値の内の最小値を調べることで、上記 b/a が決定される。

【0051】こうして、数式10の右辺は、既知量や観測値から算出される量のみから構成されるために、拡散反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_r(\lambda, \phi)$ とを求めることができる。

【0052】このような原理を用いることにより、測定された被写体の反射スペクトル $I(\lambda, \phi)$ と照明光スペクトル $E(\lambda)$ とに基づいて、対応点を追跡し、被写体の反射スペクトルを拡散反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_r(\lambda, \phi)$ とに分離することが可能となる。

【0053】このような原理は、線形な入出力特性をもつカメラの撮影信号に対しても同様に成り立つ。

【0054】すなわち、被写体スペクトル $i(\lambda, \phi)$ の物体を、分光感度 $h_i(\lambda)$ ($i=1 \sim N$)のカメラにより撮影したときに得られる撮影信号を $g(i, \phi)$ ($i=1 \sim N$)とすると、この $g(i, \phi)$ は、次の数式13により表される。

(7)

特開2003-85531

11

12

【数13】

$$g(i, \phi) = \int h_i(\lambda) I(\lambda, \phi) d\lambda$$

【0055】また、照明光スペクトル $E(\lambda)$ の光により照明された白色拡散板等を、同じカメラで撮影することにより得られる撮影信号 $e(i)$ は、次の数式14により表される。

【数14】

$$e(i) = k \int h_i(\lambda) E(\lambda) d\lambda$$

【0056】ここに、 k は、撮影信号 $e(i)$ が次の数式15のように規格化されるように定められる定数である。

【数15】

$$\sum_{i=1}^N e(i)^2 = 1$$

【0057】被写体撮影信号 $g(i, \phi)$ を、数式1と同様に、拡散反射成分 $g_d(i, \phi)$ と鏡面反射成分 $g_s(i, \phi)$ とに各対応する撮影信号 $g_d(i, \phi)$ と $g_s(i, \phi)$ との撮影和により表すと、次の数式16に示すようになる。

【数16】

$$\begin{aligned} g(i, \phi) &= g_d(i, \phi) + g_s(i, \phi) \\ &= D(\phi) g_{dn}(i) + S(\phi) e(i) \end{aligned}$$

【0058】ここに、

$$g_d(i, \phi) = D(\phi) g_{dn}(i)$$

$$g_s(i, \phi) = S(\phi) e(i)$$

であり、 $g_{dn}(i)$ は、 $\sum_{i=1}^N g_{dn}(i)^2 = 1$ となるように規格化されているものとする。

【0059】同様に、観測された $g(i, \phi)$ を、上記 $e(i)$ と、この $e(i)$ に直交し次の数式17に示すように規格化されている成分 $P_r(i)$ と、を用いて、数式18のように表す。

【数17】

$$\sum_{i=1}^N P_r(i)^2 = 1$$

【数18】

$$g(i, \phi) = p_r(\phi) P_r(i) + q_r(\phi) e(i)$$

【0060】ここで $P_r(i)$ と $e(i)$ は撮影信号値空間上での直交基底をなす方向ベクトルを表し、 $p_r(\phi)$ と $q_r(\phi)$ は、回転角 ϕ におけるそれぞれの成分の強度を表している。

【0061】これらの内の $q_r(\phi)$ は、 $g(i, \phi)$ と $e(i)$ の内積値を計算することにより、次の数式19に示すように求められる。

【数19】

$$q_r(\phi) = \sum_{i=1}^N g(i, \phi) e(i)$$

【0062】そして、上記 $P_r(i)$ および $p_r(\phi)$ は、 $e(i)$ および $q_r(\phi)$ を上記数式18に代入することにより、次の数式20に示すように求められる。

【数20】

$$\begin{aligned} p_r(\phi) &= \sum_{i=1}^N \{g(i, \phi) - q_r(\phi) e(i)\}^{1/2} \\ P_r(i) &= \{g(i, \phi) - q_r(\phi) e(i)\} / p_r(\phi) \end{aligned}$$

【0063】同様に、対応点の追跡において未知数である振幅 r を求めるには、時空間断面画像上の位置 (x, ϕ) の画素値を $P_{x, \phi}(i)$ と表記し、上述した数式6の代わりに、次の数式21を用いることにより評価する。

【数21】

$$\begin{aligned} \bar{P}(i) &= \sum_{\phi=-\pi/2}^{\pi/2} P_{x, \phi}(i) / M \\ err(r, \phi) &= \sqrt{\int |P_{x, \phi}(i) - \bar{P}(i)|^2 d\lambda} \\ C(r) &= \sum_{\phi=-\pi/2}^{\pi/2} err(r, \phi) \end{aligned}$$

【0064】また、 $p_r(\phi)$ と $q_r(\phi)$ は、それぞれ数式22と数式23に示すように表される。

【数22】

$$\begin{aligned} p_r(\phi) &= \sum_{i=1}^N g_{dn}(i, \phi) P_r(i) \\ &= \sum_{i=1}^N D(\phi) g_{dn}(i) P_r(i) \\ &= a' D(\phi) \\ &= \sum_{i=1}^N g_{dn}(i) P_r(i) = a' \end{aligned}$$

【数23】

$$\begin{aligned} q_r(\phi) &= \sum_{i=1}^N g_s(i, \phi) e(i) + \sum_{i=1}^N g_d(i, \phi) e(i) \\ &= b' D(\phi) + S(\phi) \\ b' &= \sum_{i=1}^N g_{dn}(i) e(i) \end{aligned}$$

【0065】これら数式22と数式23から $D(\phi)$ を消去して整理することにより、 $S(\phi)$ に関する次の数式24が得られる。

【数24】

$$S(\phi) = q_r(\phi) - \frac{b'}{a'} p_r(\phi)$$

【0066】さらに、上記数式16とこの数式24を用いることにより、拡散反射成分 $g_d(i, \phi)$ と鏡面反

13

射成分 $g_s(i, \phi)$ に関する次の数式 25 が得られる。

【数 25】

$$\begin{aligned} g_s(i, \phi) &= S(\phi)e(i) \\ &= \left\{ q_s(\phi) - \frac{b'}{a'} p_s(\phi) \right\} e(i) \\ g_a(i, \phi) &= g(i, \phi) - S(\phi)e(i) \end{aligned}$$

【0067】上記数式 23 の両辺を数式 22 の両辺でそれぞれ割ることによって、次の数式 26 が得られる。

【数 26】

$$\frac{g_s(\phi)}{p_s(\phi)} = \frac{b'}{a'} + \frac{S(\phi)}{a'D(\phi)}$$

【0068】そして、上述と同様の理由により、 b'/a' は、数式 26 の最小値として、次の数式 27 に示すように求められる。

【数 27】

$$\frac{b'}{a'} = \min \left(\frac{q_s(\phi)}{p_s(\phi)} \right)$$

【0069】こうして b'/a' が求められたために、上記数式 25 により、拡散反射成分 $g_a(i, \phi)$ と鏡面反射成分 $g_s(i, \phi)$ が求められる。

【0070】以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。図 2 から図 7 は本発明の第 1 の実施形態を示したものであり、図 2 は光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図、図 3 は光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図、図 4 はスペクトル推定処理部の構成を示すブロック図、図 5 は対応点追跡処理部の構成を示すブロック図、図 6 は光沢分離処理部の構成を示すブロック図、図 7 は合成再現処理部の構成を示すブロック図である。

【0071】この光沢・色再現システムは、図 2 に示すように、被写体 3 と、この被写体 3 を載置して制御しながら回転させることにより複数の撮影条件を再現する回転台 2 と、上記被写体 3 に撮影照明光を照射する点光源 6 と、照明された被写体を撮影する撮影手段でありマルチバンドカメラたるマルチスペクトルカメラ 1 と、上記回転台 2 とマルチスペクトルカメラ 1 を制御する制御用パーソナルコンピュータ（制御用 PC）4 と、この制御用 PC 4 に接続された表示モニタ 5 と、を有して構成されている。

【0072】上記点光源 6 は、測定に必要なスペクトル分布の照明光を照射し得る光源となっていて、その位置は固定されている。

【0073】上記回転台 2 は、被写体 3 を載置する上面が光を反射させない黒となっており、回転角を所定の角度単位でステップ刻みに変化させることができるように

(8)

特開 2003-85531

14

なっている。

【0074】上記マルチスペクトルカメラ 1 は、回転式のフィルタ装置に例えば 16 種類のフィルタが装填されていて、該フィルタ装置を一回転させながら内蔵される撮像素子等を用いて順次撮影することにより、1 回の撮影動作で 16 バンドの画像データを取得することができるように構成されている。

【0075】このような光沢・色再現システムによる撮影時の動作は次のようになる。

【0076】上記図 2 に示したようにセッティングが完了したら、制御用 PC 4 により自動制御による撮影動作を開始させる。

【0077】すると、上記制御用 PC 4 が、上記マルチスペクトルカメラ 1 を制御して、上記フィルタ装置を回転させながら、各色フィルタ毎に撮影を行うことにより、16 バンドのマルチバンド画像データが該マルチスペクトルカメラ 1 から出力される。

【0078】このマルチバンド画像データは、制御用 PC 4 に入力されて、内蔵する RAM やハードディスク等の記憶媒体に記憶される。

【0079】次に、制御用 PC 4 は、上記回転台 2 を制御して、一単位角度だけ回転させる。この一単位角度は、上述した原理で説明したように、 $-\pi/2 \sim \pi/2$ の範囲で回転台 2 を回転し、その間に M 組のマルチバンド画像データを取得する場合には、 $\pi/(M-1)$ となる。

【0080】こうして、一単位角度の回転が行われたら、上述と同様にマルチスペクトルカメラ 1 を制御して、マルチバンド画像データを取得する。

【0081】こうして、M 組のマルチバンド画像データが取得されて、制御用 PC 4 に時系列的に入力され、記憶される。

【0082】一連の撮影動作が終了したら、制御用 PC 4 は、蓄積された被写体撮影画像たる時系列マルチバンド画像データの処理を行うようになっている。

【0083】この制御用 PC 4 の光沢・色再現処理部 10 において行われる光沢・色再現処理について、図 3 を参照して説明する。

【0084】光沢・色再現処理部 10 は、図 3 に示すように、スペクトル推定処理部 11 と、対応点追跡処理部 12 と、光沢分離処理部 13 と、合成再現処理部 14 と、を有して構成されている。

【0085】上記スペクトル推定処理部 11 は、時系列マルチバンド画像データと撮影特性データとを読み込み、画像データの各点の反射スペクトルを推定するスペクトル推定手段であり、より詳しくは、図 4 に示すように構成されている。

【0086】すなわち、スペクトル推定処理部 11 は、スペクトル推定行列算出部 16 と、スペクトル推定部 17 と、を有して構成されている。

15

【0087】上記スペクトル推定行列算出部16は、撮影特性データを入力して、Wiener推定を行うためのスペクトル推定行列を算出するものである。

【0088】上記撮影特性データには、カメラの分光感度と、撮影照明光スペクトルと、被写体の分光反射率の統計データが含まれており、予め測定されたデータが制御用PC4に記録されているものとする。

【0089】上記スペクトル推定行列は、16バンドの画像信号値に係る380nm〜780nmの波長領域を、1nm間隔で刻むことにより401次元のスペクトルデータ

10 11に変換するための401×16の行列である。
【0090】マルチバンドカメラの撮影信号値から被写体のスペクトルをWiener推定により算出するための行列の算出手段は、村上百合、小堀高史、山口雅浩、大山永昭、小宮宏志による「正確な色再現が可能なカラー画像システムの開発」(カラーフォーラムJAPAN'99論文集(1999)の第5頁から第8頁)(以下、文献3という)等に記載されており、ここでは説明を省略する。

【0091】上記スペクトル推定部17は、16バンドの時系列マルチバンド画像データを各画素毎に読み込み、上記スペクトル推定行列算出部16から入力したスペクトル推定行列を、この16バンドのデータに掛けて、スペクトル画像データを算出し出力するものである。

【0092】また、上記対応点追跡処理部12は、対応点取得手段であって、図5に示すように、鏡面反射係数算出部21と、拡散反射成分算出部22と、対応点算出部23と、を有して構成されている。

【0093】上記鏡面反射係数算出部21は、上記スペクトル推定部17から出力されるスペクトル画像データ(上述した原理における $I(\lambda, \phi)$ に該当する)を各画素毎に読み込み、さらに撮影特性データに含まれる撮影照明光スペクトル(上述した原理における $E(\lambda)$ に該当する)を読み込んで、上述した数式3を用いることにより、鏡面反射係数 $q(\phi)$ を算出するものである。

【0094】上記拡散反射成分算出部22は、各画素毎の上記スペクトル画像データと、上記鏡面反射係数算出部21により算出されたその鏡面反射係数 $q(\phi)$ と、上記撮影照明光スペクトルとを読み込んで、上述した数式4を用いることにより、照明光成分と直交する成分として、拡散反射成分 $P(\lambda)$ および拡散反射係数 $p(\phi)$ を算出するものである。

【0095】上記対応点算出部23は、上述した数式5の $y=h$ で表されるライン毎に、上記拡散反射成分算出部22により算出した $P(\lambda)$ を入力し、数式6に基づいてコスト関数 $C(r)$ を算出し、このコスト関数 $C(r)$ の値が最小となるような振幅 r を求める。そして、求めた振幅 r を用いて、数式5により、各 ϕ の画像間の対応関係を与える位置データである対応点情報を算出して出力するものである。

(9)

特開2003-85531

16

【0096】次に、上記光沢分離処理部13は、光沢分離手段であって、図6に示すように、係数算出部25と、拡散・鏡面成分算出部26と、を有して構成されている。

【0097】上記係数算出部25は、上記対応点算出部23から出力される対応点情報 $(p(\lambda), q(\lambda))$ を読み込んで、各対応点毎に拡散反射係数 $p(\phi)$ および鏡面反射係数 $q(\phi)$ を読み込み、上述した数式12に基づいて、拡散成分比 b/a を求めるものである。

10 11【0098】上記拡散・鏡面成分算出部26は、撮影照明光スペクトル $E(\lambda)$ を読み込むとともに、各対応点毎に上述した拡散反射係数 $p(\phi)$ 、鏡面反射係数 $q(\phi)$ 、拡散成分比 b/a を読み込んで、数式10に基づいて拡散反射成分 $I_s(\lambda, \phi)$ と鏡面反射成分 $I_r(\lambda, \phi)$ とを算出し、拡散・鏡面反射成分画像データとして出力するものである。

【0099】さらに、上記合成再現処理部14は、図7に示すように、拡散・鏡面成分合成処理部28と、色再現処理部29と、を有して構成されている。

20 21【0100】上記拡散・鏡面成分合成処理部28は、上記拡散・鏡面成分算出部26から出力される拡散・鏡面反射成分画像データを読み込むとともに幾何データを読み込んで、拡散・鏡面反射成分画像データから幾何データに基づいて所定の幾何条件における拡散・鏡面反射成分画像データを合成するものである。

【0101】ここに上記幾何データは、撮影照明光の光源と被写体表面の各点と測定点との位置関係を示す情報を含んだものである。

【0102】これらの情報を用いて、様々な照明光の形状、位置、被写体の向きにおける被写体スペクトルを算出する手段の詳細については、土田勝、小堀高史、山口雅浩、大山永昭による「多方向から撮影した画像を用いた異なる照明環境下における画像再現」(3次元画像コンファレンス99(3D Image Conference '99)(1999)講演論文集の第7頁から第12頁)(以下、文献4という)等に記載されているために、ここでは説明を省略する。

【0103】上記色再現処理部29は、上記拡散・鏡面成分合成処理部28により合成された拡散・鏡面反射成分画像データを読み込むとともに色再現データを読み込んで、拡散・鏡面反射成分画像データを所定の観察条件における光沢・色再現画像データに変換して出力するものである。

【0104】ここに上記色再現データは、観察照明光スペクトルと、等色関数データと、ディスプレイプロファイルデータと、を含んだものである。

【0105】合成された拡散・鏡面反射成分画像データ $I(\lambda, \phi)$ から、撮影照明光スペクトル $E(\lambda)$ と、観察照明光スペクトル $E_o(\lambda)$ と、等色関数データ $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ とを用いて、次の数式

50

(10)

特開2003-85531

17

28により三刺激値 $X(\phi')$ 、 $Y(\phi')$ 、 $Z(\phi')$ を算出する。

【数28】

$$X(\phi') = \int x(\lambda) \{E_s(\lambda)/E(\lambda)\} \bar{x}(\lambda, \phi') d\lambda$$

$$Y(\phi') = \int y(\lambda) \{E_s(\lambda)/E(\lambda)\} \bar{y}(\lambda, \phi') d\lambda$$

$$Z(\phi') = \int z(\lambda) \{E_s(\lambda)/E(\lambda)\} \bar{z}(\lambda, \phi') d\lambda$$

【0106】これらの三刺激値 $X(\phi')$ 、 $Y(\phi')$ 、 $Z(\phi')$ は、ディスプレイプロファイルを用いてディスプレイへの入力信号値 $D_r(\phi')$ 、 $D_g(\phi')$ 、 $D_b(\phi')$ に変換される。

【0107】ここに上記ディスプレイプロファイルは、表示モニタ5のRGB各原色の色度値と、トーンカーブデータとを含んだものである。

【0108】このディスプレイプロファイルを用いて X 、 Y 、 Z から $D_r(\phi')$ 、 $D_g(\phi')$ 、 $D_b(\phi')$ に変換する手段については、田島譲二による「カラー画像複製論」(丸善株式会社発行(1996)) (以下、文献5という)等に記載されているために、ここでは説明を省略する。

【0109】こうして生成されたディスプレイへの入力信号値 $D_r(\phi')$ 、 $D_g(\phi')$ 、 $D_b(\phi')$ は、上記表示モニタ5に入力され、該表示モニタ5において、所望の照明条件下における被写体の光沢・色が正確に再現された画像が、表示される。

【0110】このような第1の実施形態によれば、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分から対応点を取得しているために、画像に光沢部分が合ったとしてもその影響をほぼ受けることなく、正確な対応点の追跡を行うことができる。

【0111】また、被写体撮影画像の照明光成分と直交する成分を用いて、被写体撮影画像の鏡面反射成分と拡散反射成分とを分離しているために、複雑な計算を行うことなく、簡便に分離を行うことができる。

【0112】こうして、光沢の影響をほぼ受けることなく、簡便に、対応点の追跡を行うとともに、拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができるために、様々な照明条件下における物体の光沢や色を、正確に再現した画像を表示することが可能となる。

【0113】また、本実施形態で説明したような技術を用いることにより、回転台を使用することなく撮影されたステレオ画像を用いた場合に発生する可能性のあった対応点マッチングのミスマッチ(誤認)を、軽減することができる。

【0114】さらに、本実施形態で説明したような技術は、例えばテクスチャ解析や、交通違反等の証拠写真におけるハレーションの除去等にも応用することが可能である。

【0115】図8から図12は本発明の第2の実施形態

18

を示したものであり、図8は光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図、図9は光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図、図10は対応点追跡処理部の構成を示すブロック図、図11は光沢分離処理部の構成を示すブロック図、図12は合成再現処理部の構成を示すブロック図である。

【0116】この第2の実施形態において、上述の第1の実施形態と同様である部分については説明を省略し、主として異なる点についてのみ説明する。

【0117】この第2の実施形態の光沢・色再現システムは、図8に示すように、上述した第1の実施形態の光沢・色再現システムとほぼ同様に構成されているが、マルチスペクトルカメラ1の代わりにRGBカメラ31を使用し、また、被写体3の近傍に白色板32を載置している点が異なっている。

【0118】上記RGBカメラ31は、1回の撮影動作を行うことにより、RGB3バンドの画像データを取得する撮影手段である。

【0119】また、制御用PC4の制御に基づいて、回転台2を回転させながら、RGBカメラ31により順次撮影を行っていくのも上述と同様であるが、白色板32の撮影については、被写体3の撮影と同時に進めても良いし、あるいは被写体3の撮影を行う前後に、点光源6による同一の照明光環境下において行っても構わない。

【0120】こうして撮影された被写体3の画像データは被写体撮影画像たる時系列RGB画像データとして、また、白色板32の画像データは白色板画像データとして、制御用PC4の内部にそれぞれ記憶される。

【0121】その後制御用PC4は、蓄積された時系列RGB画像データの処理を行うようになっている。

【0122】この制御用PC4の光沢・色再現処理部40において行われる光沢・色再現処理について、図9を参照して説明する。

【0123】光沢・色再現処理部40は、図9に示すように、対応点追跡処理部41と、光沢分離処理部42と、合成再現処理部43と、を有して構成されている。

【0124】上記対応点追跡処理部41は、対応点取得手段であって、図10に示すように、鏡面反射係数算出部45と、拡散反射成分算出部46と、対応点算出部47と、を有して構成されている。

【0125】上記鏡面反射係数算出部45は、時系列RGB画像データを各画素毎に読み込むとともに、白色板画像データから抽出した照明光スペクトルの撮影信号 $e(i)$ を読み込んで、上述した数式19を用いることにより、鏡面反射係数 $q_s(\phi)$ を算出するものである。

【0126】上記拡散反射成分算出部46は、各画素毎にRGB画像データ(上述した原理における $g(i, \phi)$ に該当する)を読み込むとともに、上記鏡面反射係数算出部45により算出したその鏡面反射係数 $q_s(\phi)$ と、照明光スペクトルの撮影信号 $e(i)$ とを

(11)

特開2003-85531

19

20

読み込み、照明光成分と直交する成分として、拡散反射成分 $P_r(i)$ および拡散反射係数 $p_r(\phi)$ を上述した数式20より算出するものである。

【0127】上記対応点算出部47は、上述した数式5の $y=h$ で表されるライン毎に、上記拡散反射成分算出部46により算出した $P_r(i)$ を入力し、上述した数式21に基づいて、コスト関数 $C(r)$ を算出し、このコスト関数 $C(r)$ の値が最小となる振幅 r を求める。そして、求めた振幅 r を用いて、数式5により、各 ϕ の画像間の対応関係を与える位置データである対応点情報を算出して出力するものである。

【0128】また、上記光沢分離処理部42は、光沢分離手段であって、図11に示すように、係数算出部51と、拡散・鏡面成分算出部52と、を有して構成されている。

【0129】上記係数算出部51は、上記対応点算出部47から出力される対応点情報 $(p_r(i), q_r(i))$ を読み込んで、各対応点毎に拡散反射係数 $p_r(\phi)$ および鏡面反射係数 $q_r(\phi)$ を読み込み、上述した数式27に基づいて、拡散成分比 b^*/a^* を求め 20

るものである。

【0130】上記拡散・鏡面成分算出部52は、撮影照明光スペクトルの撮影信号 $e(i)$ を読み込むとともに、各対応点毎に、上述した拡散反射係数 $p_r(\phi)$ 、鏡面反射係数 $q_r(\phi)$ 、拡散成分比 b^*/a^* を読み込んで、上述した数式25に基づいて、拡散反射成分 $g_r(i, \phi)$ と鏡面反射成分 $g_m(i, \phi)$ とを算出し、拡散・鏡面反射成分画像データとして出力するものである。

【0131】さらに、上記合成再現処理部43は、図12に示すように、拡散・鏡面成分合成処理部55と、色再現処理部56と、を有して構成されている。

【0132】上記拡散・鏡面成分合成処理部55は、上記拡散・鏡面成分算出部52から出力される拡散・鏡面反射成分画像データを読み込むとともに幾何データを読み込んで、拡散・鏡面反射成分画像データから幾何データに基づいて所定の幾何条件における拡散・鏡面反射成分画像データを合成するものである。

【0133】ここに上記幾何データは、撮影照明光の光源と被写体表面の各点と測定点との位置関係を表す情報を含んだものである。

【0134】これらの情報を用いて、様々な照明光の形状、位置、被写体の向きにおける被写体スペクトルを算出する手段の詳細については、上述した文献4に記載されており、ここでも同様の手段を用いることができるために説明を省略する。

【0135】上記色再現処理部56は、上記拡散・鏡面成分合成処理部55により合成された拡散・鏡面反射成分画像データを読み込むとともに色再現データを読み込んで、拡散・鏡面反射成分画像データを所定の観察条件 50

における光沢・色再現画像データに変換して出力するものである。

【0136】上記色再現データは、RGBカメラの分光感度と、撮影照明光スペクトルと、被写体の分光反射率の統計データと、観察照明光スペクトルと、等色関数データと、ディスプレイプロファイルデータとを含んだものである。

【0137】合成された拡散・鏡面反射成分画像データ $g(i, \phi^*)$ から、分光反射率画像 $f(\lambda, \phi^*)$ が推定される。この分光反射率画像 $f(\lambda, \phi^*)$ の推定手段は、上述した第1の実施形態で用いたWiener推定を用いている。

【0138】こうして推定された分光反射率画像 $f(\lambda, \phi^*)$ から、観察照明光スペクトル $E_o(\lambda)$ と、等色関数データ $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ とを用いて、次の数式29により三刺激値 $X(\phi^*)$ 、 $Y(\phi^*)$ 、 $Z(\phi^*)$ を算出する。

【数29】

$$X(\phi^*) = \int x(\lambda) E_o(\lambda) f(\lambda, \phi^*) d\lambda$$

$$Y(\phi^*) = \int y(\lambda) E_o(\lambda) f(\lambda, \phi^*) d\lambda$$

$$Z(\phi^*) = \int z(\lambda) E_o(\lambda) f(\lambda, \phi^*) d\lambda$$

【0139】これらの三刺激値 $X(\phi^*)$ 、 $Y(\phi^*)$ 、 $Z(\phi^*)$ は、ディスプレイプロファイルを用いてディスプレイへの入力信号値 $D_r(\phi^*)$ 、 $D_g(\phi^*)$ 、 $D_b(\phi^*)$ に変換される。ここでディスプレイプロファイルを用いて XYZ から $D_r(\phi^*)$ 、 $D_g(\phi^*)$ 、 $D_b(\phi^*)$ に変換する手段も、上述した第1の実施形態で用いた手段と同様である。

【0140】こうして生成されたディスプレイへの入力信号値 $D_r(\phi^*)$ 、 $D_g(\phi^*)$ 、 $D_b(\phi^*)$ は、上記表示モニター5に入力され、該表示モニター5において、所望の照明条件下における被写体の光沢・色が正確に再現された画像が、表示される。

【0141】このような第2の実施形態によれば、上述した第1の実施形態とはほぼ同様の効果を奏するとともに、RGBカメラと白色板を用いることにより、より簡便に計測を行うことが可能となる。

【0142】図13から図15は本発明の第3の実施形態を示したものであり、図13は光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図、図14は光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図、図15は合成再現処理部の構成を示すブロック図である。

【0143】この第3の実施形態において、上述の第1、第2の実施形態と同様である部分については説明を省略し、主として異なる点についてのみ説明する。

【0144】この第3の実施形態の光沢・色再現システムは、図13に示すように、上述した第2の実施形態の光沢・色再現システムとはほぼ同様に構成されているが、

(12)

特開2003-85531

21

22

白色板32の代わりに色票61を使用している点が異なっている。

【0145】この色票61は、白色の領域を含む例えば9色の領域から構成されており、無彩色を除く色は、互いに独立な分光反射率となっている。

【0146】また、この色票61の撮影については、被写体3の撮影と同時に進めても良いし、あるいは被写体3の撮影を行う前後に、点光源6による同一の照明光環境下において進めても構わないことも上述と同様である。

【0147】こうして撮影された被写体3の画像データは時系列RGB画像データとして、また、白色領域の画像は白色板画像データとして、さらに、色票全体の撮影画像は色票画像データとして、制御用PC4の内部にそれぞれ記憶される。

【0148】その後、制御用PC4は、光沢・色再現処理部70において、蓄積された時系列RGB画像データの処理を行い、光沢・色再現画像データを出力するようになっている。

【0149】光沢・色再現処理部70は、図14に示すように、対応点取得手段たる対応点追跡処理部71と、光沢分離手段たる光沢分離処理部72と、合成再現処理部73と、を有して構成されている。

【0150】これらの内の対応点追跡処理部71は、上述した第2の実施形態の対応点追跡処理部41と、また、光沢分離処理部72は、上述した第2の実施形態の光沢分離処理部42と、それぞれ同様である。

【0151】また、上記合成再現処理部73は、図15に示すように、拡散・鏡面成分合成処理部75と、色再現処理部76と、を有して構成されている。

【0152】これらの内の拡散・鏡面成分合成処理部75は、上述した第2の実施形態の拡散・鏡面成分合成処理部55と同様である。

【0153】一方、上記色再現処理部76は、上記拡散・鏡面成分合成処理部75により合成された拡散・鏡面反射成分画像データを読み込むとともに、色再現データと色票画像データとを読み込んで、拡散・鏡面反射成分画像データを所定の観察条件における光沢・色再現画像に変換する。

【0154】上記色再現データは、観察照明光スペクトルと、等色関数データと、ディスプレイプロファイルデータとを含んだものである。

【0155】合成された拡散・鏡面反射成分画像データ $g(i, \phi')$ から、分光反射率画像 $f(\lambda, \phi')$ が推定される。この分光反射率画像 $f(\lambda, \phi')$ は、色票画像データから抽出された色票の各色のRGB信号値と、予め測定されている色票の各色の分光反射率データと、から推定される。

【0156】色票画像データを用いた分光反射率の推定手段は、Yuri Murakami, Takashi Ohn, Masahiro Yama

uchi, Naokaaki Chyama, Yasuhiro Komiyakによる「Spectral reflectance estimation from multi-band image using color chart」(Optics Communications 188 (2001) の第47頁から第54頁) (以下、文献6という)に記載されているので、説明を省略する。

【0157】分光反射率画像 $f(\lambda, \phi')$ からディスプレイへの入力信号値 $D_r(\phi')$ 、 $D_g(\phi')$ 、 $D_b(\phi')$ に変換する手段も上述した第2の実施形態と同様であるために、説明を省略する。

10 【0158】こうして、上記表示モニタ5において、所望の撮影照明条件下における被写体の光沢・色が正確に再現された画像が、表示される。

【0159】このような第3の実施形態によれば、上述した第1、第2の実施形態とはほぼ同様の効果を得るとともに、色票を用いることにより、より忠実な色再現を行うことが可能になる。

【0160】なお、上述した各実施形態におけるブロック図として記載した各処理部は、専用の処理回路として構成しても良いし、あるいはコンピュータにおける処理プログラムとして構成しても構わない。

20 【0161】また、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々の変形や応用が可能であることは勿論である。

【0162】

【発明の効果】以上説明したように請求項1による本発明の光沢・色再現システムによれば、光沢があっても簡便に対応点を追跡することができる。

【0163】また、請求項2による本発明の光沢・色再現システムによれば、簡便に拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができる。

30 【0164】さらに、請求項3による本発明の光沢・色再現システムによれば、光沢があっても簡便に対応点を追跡することができるとともに、スペクトルを推定することにより、精度を向上することができる。

【0165】請求項4による本発明の光沢・色再現システムによれば、簡便に拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができるとともに、スペクトルを推定することにより、精度を向上することができる。

【0166】請求項5による本発明の光沢・色再現システムによれば、被写体と撮影手段との位置関係を変化させることにより、請求項1から請求項4に記載の発明と同様の効果を得ることができる。

【0167】請求項6による本発明の光沢・色再現システムによれば、請求項1から請求項4に記載の発明と同様の効果を得るとともに、撮影手段としてマルチバンドカメラを用いることにより、波長毎のスペクトル成分の違いを高精度に検出することが可能となるために、より精度を向上することができる。

【0168】請求項7による本発明の光沢・色再現プログラムによれば、光沢があっても簡便に対応点を追跡す

50

(13)

特開2003-85531

23

24

ることが可能となる。

【0169】請求項8による本発明の光沢・色再現プログラムによれば、留便に拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することが可能となる。

【0170】請求項9による本発明の光沢・色再現プログラムによれば、光沢があっても留便に対応点を追跡することが可能となるとともに、スペクトルを推定することにより、精度を向上することができる。

【0171】請求項10による本発明の光沢・色再現プログラムによれば、留便に拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することが可能となるとともに、スペクトルを推定することにより、精度を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の各実施形態に係る原理を説明するための図であり、(A)被写体を記述する座標系と観測面の座標系との関係を示す図、(B)対応点の時空間断面画像の様子を示す図。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図。

【図3】上記第1の実施形態に係る光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図。

【図4】上記第1の実施形態に係るスペクトル推定処理部の構成を示すブロック図。

【図5】上記第1の実施形態に係る対応点追跡処理部の構成を示すブロック図。

【図6】上記第1の実施形態に係る光沢分離処理部の構成を示すブロック図。

【図7】上記第1の実施形態に係る合成再現処理部の構成を示すブロック図。

【図8】本発明の第2の実施形態に係る光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図。

【図9】上記第2の実施形態に係る光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図。

【図10】上記第2の実施形態に係る対応点追跡処理部の構成を示すブロック図。

【図11】上記第2の実施形態に係る光沢分離処理部の*

* 構成を示すブロック図。

【図12】上記第2の実施形態に係る合成再現処理部の構成を示すブロック図。

【図13】本発明の第3の実施形態に係る光沢・色再現システムの概略的な構成を示す図。

【図14】上記第3の実施形態に係る光沢・色再現処理部の構成を示すブロック図。

【図15】上記第3の実施形態に係る合成再現処理部の構成を示すブロック図。

【符号の説明】

1…マルチスペクトルカメラ（撮影手段、マルチバンドカメラ）

2…回転台

3…被写体

4…制御用パーソナルコンピュータ

5…表示モニタ

6…点光源

10、40、70…光沢・色再現処理部

11…スペクトル推定処理部（スペクトル推定手段）

12、41、71…対応点追跡処理部（対応点取得手段）

13、42、72…光沢分離処理部（光沢分離手段）

14、43、73…合成再現処理部

16…スペクトル推定行列算出部

17…スペクトル推定部

21、45…鏡面反射係数算出部

22、46…拡散反射成分算出部

23、47…対応点算出部

25、51…係数算出部

26、52…拡散・鏡面成分算出部

28、55、75…拡散・鏡面成分合成処理部

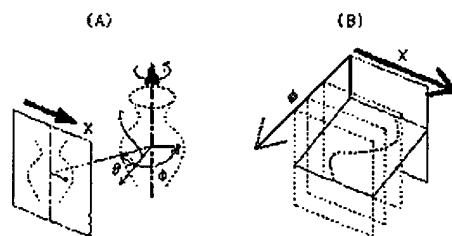
29、56、76…色再現処理部

31…RGBカメラ（撮影手段）

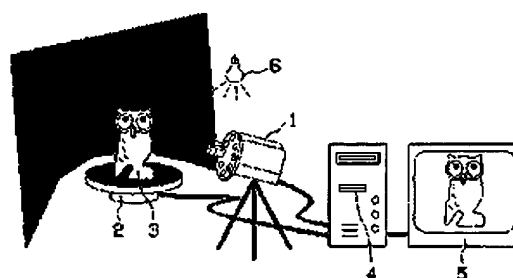
32…白色板

61…色票

【図1】



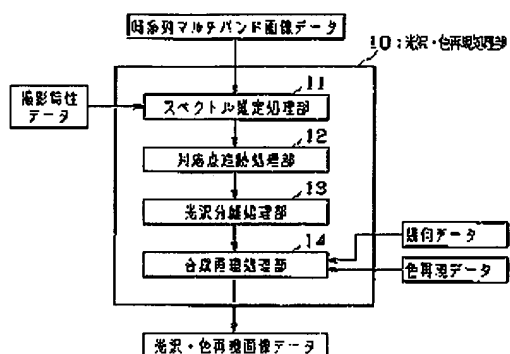
【図2】



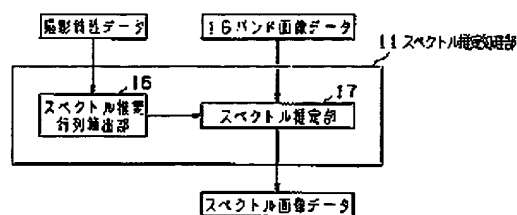
(14)

特開2003-85531

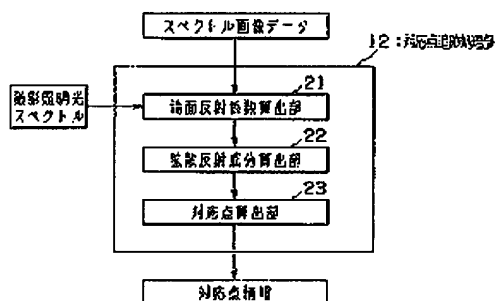
【図3】



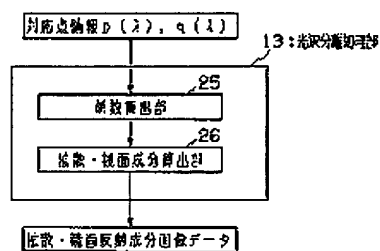
【図4】



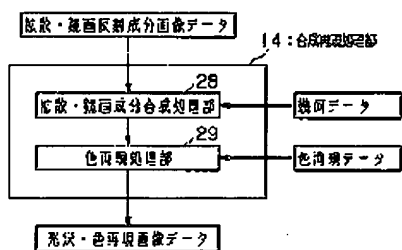
【図5】



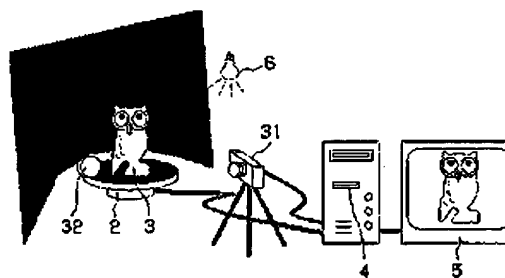
【図6】



【図7】



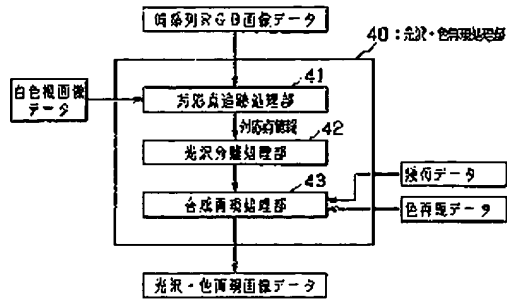
【図8】



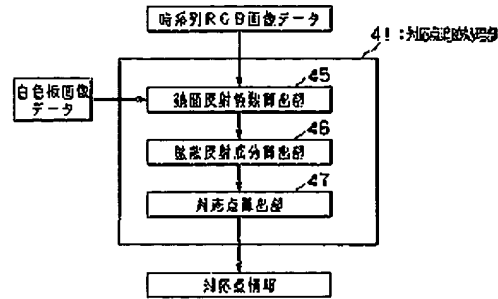
(15)

特開2003-85531

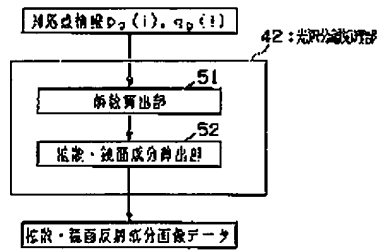
【図9】



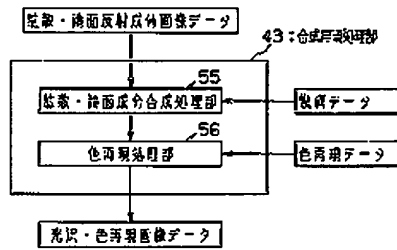
【図10】



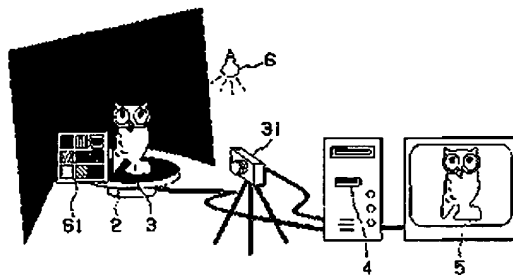
【図11】



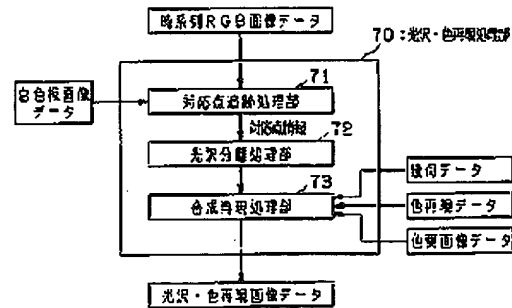
【図12】



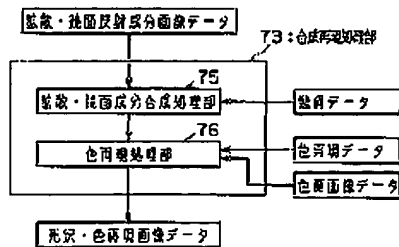
【図13】



【図14】



【図15】



(16)

特開2003-85531

フロントページの続き

(72)発明者 土田 勝
東京都港区芝2-31-19 通信・放送機械
内

Fターム(参考) 2G020 AA08 DA06 DA13 DA22 DA31
DA34 DA35 DA51

(72)発明者 山口 雅浩
東京都港区芝2-31-19 通信・放送機械
内

2G059 AA02 EE02 EE13 FF01 GG10
HH02 JJ02 KK04 MM01

(72)発明者 大山 永昭
東京都港区芝2-31-19 通信・放送機械
内

5B057 BA02 BA19 CA01 CA08 CA12
CA13 CA16 CB01 CB08 CB12
CB16 CE17 DA07 DA16 DB03
DB06 DB09 DC25 DC32 DC36
5L096 AA02 AA06 CA04 FA15 FA69
GA40 HA05 MA03

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.